



University of Groningen

Laser interferometric study of the mechanosensitivity of the fish lateral line

van Netten, Sietse Marten

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

1987

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

van Netten, S. M. (1987). Laser interferometric study of the mechanosensitivity of the fish lateral line. s.n.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Samenvatting

Laser interferometrisch onderzoek aan de mechanogevoeligheid van het zijlijnorgaan van de vis.

Het in dit proefschrift beschreven onderzoek bestaat uit twee gedeelten. Het eerste gedeelte, beschreven in de hoofdstukken I en II is gekoncentreerd op het ontwikkelen en uittesten van nieuwe technieken en apparatuur waarmee onder *in vivo* condities nanometer verplaatsingen van een mikrostructuur in een proefdier gemeten konden worden. Het tweede gedeelte is gewijd aan het toepassen van deze technieken voor het onderzoek aan de cupula en de zintuighaarcellen van het zijlijnorgaan en is beschreven in de hoofdstukken III, IV en V.

Zintuighaarcellen zijn gevisualiseerd door gebruik te maken van opvallend licht polarizatie mikroskopie (ILPM), (Hoofdstuk I). De combinatie van gepolariseerd opvallend licht met waterimmersie en met de optische reflektie-eigenschappen van neurale weefsel creëren een doorvallend licht situatie waarin storende reflecties met behulp van een analysator voldoende onderdrukt kunnen worden. De contrastwerking waardoor de zintuighaarcellen waargenomen kunnen worden berust op verschillen in de dubbelbreking van de verschillende structuren van de haarcel. De methode is ook bruikbaar om andere neuronale structuren te visualiseren zoals de zenuwen die de haarcellen innervieren. Deze kunnen tot op een diepte van enkele honderden mikrometers in het epithelium worden gevolgd. De techniek blijkt ook bruikbaar om andere oppervlakkig gelegen biologische structuren te visualiseren die slechts van één kant optisch benaderbaar zijn.

Bewegingen van de cupula zijn gemeten met een nieuw ontwikkelde laser interferometer mikroskoop (LIM), (Hoofdstuk II). De werking hiervan berust op een combinatie van laser interferometrie, optische heterodyning en hoge resolutie mikroskopie. Laserbundels van een interferometer worden met behulp van een optisch systeem via een mikroskoop gefocusseerd ($\phi \approx 5 \mu\text{m}$) op een object of structuur met mikroskopische afmetingen. De gevoeligheid van de methode wordt principieel beperkt door fotonruis. Bij frekwenties van 100 Hz kunnen verplaatsingen kleiner dan 10^{-10} m worden gedetecteerd van een enkel latex deeltje ($\phi \approx 1 \mu\text{m}$) in water. Voor metingen aan de nauwelijks reflektierende cupula werd een dergelijk deeltje onder visuele controle met de ILPM aangebracht. Het gebruik van optische heterodyning maakt de bewegingsdetectie ongevoelig voor langzame verschuivingen van de evenwichtspositie van het object waardoor de methode zeer geschikt is voor metingen aan biologische objecten *in vivo*.

Trillingen van de cupula met een amplitude tussen 0.3 en 300 nm zijn onderzocht tijdens stimulatie met sinusvormige waterbewegingen (Hoofdstuk III). In dit bereik is de responsamplitude evenredig met de stimulusamplitude, terwijl de fase konstant blijft. De frekwentiekaracteristiek van de cupula is bepaald voor verschillende gedeelten van de cupula in het frekwentiegebied van 15-500 Hz. De

verplaatsingen van de top van de cupula blijken dezelfde amplitude en fase te hebben als verplaatsingen van de basis, waar de haarbundels zijn ingebed. Hieruit is gekonkludeerd dat de cupula als een geheel over de haarcellen schuift zonder te vervormen. De gemeten frekwentiekaracteristiek is in overeenstemming met een hydrodynamisch model van de vloeistofstroming rond de cupula. Uit de vergelijking van theorie met experiment volgt dat de schuifstijfheid van de cupula waarschijnlijk volledig toe te schrijven is aan de stijfheid van de haarbundels.

De overdrachtskarakteristiek van de zintuighaarcellen is onderzocht door combinatie van verplaatsingsmetingen aan de cupula met extracellulaire metingen van de receptorpotentialen van de haarcellen (Hoofdstuk IV). De haarcellen van het zijlijnorgaan blijken geen elektrische afstemming te hebben maar een konstante gevoeligheid voor verplaatsingen van de cupula over een ruim frekwentiebereik (40-300 Hz). Daaruit volgt dat de frekwentieselektiviteit in dit bereik uitsluitend bepaald wordt door de hydrodynamika en mechanika van de cupula. Als de schuifstijfheid van de cupula inderdaad door de haarbundels wordt bepaald, zoals de resultaten beschreven in Hoofdstuk III suggereren, dan zijn de haarcellen medebepalend voor de frekwentieselektiviteit van het zijlijnorgaan. Uit de gekombineerde metingen blijkt verder dat de elektrische respons van de haarcellen van de zijlijn bij uitwijkingen van ongeveer 50 nanometer verzadigt. Het gevoeligheidsbereik is daarmee vergelijkbaar met dat van cochleaire haarcellen gemeten onder *in vitro* omstandigheden.

In Hoofdstuk V worden uitgaande van de hydrodynamische en mechanische eigenschappen van het zijlijnorgaan berekeningen gemaakt met betrekking tot de mechanische respons van de cupula. Met behulp van een oplossing van de Navier-Stokes vergelijking wordt de vloeistofstroming in de grenslaag rond de cupula berekend en met behulp daarvan de vloeistofkracht die de cupula aandrijft. Het blijkt dat de vijf fysische parameters die de overdrachtsfunctie van het systeem bepalen kunnen worden teruggebracht naar twee dimensieloze getallen. Eén daarvan is het Reynoldsgetal van de vloeistofstroming rond de cupula. Het tweede dimensieloze getal waarin alle fysische parameters voorkomen is gerelateerd aan de interactie tussen hydrodynamika en mechanika van het systeem. Vergelijkbaar met de interpretatie van het Reynoldsgetal geeft de absolute grootte van dit getal de belangrijkheid aan van verschillende krachten die op de cupula werken. Met behulp van deze beschrijving is de invloed van de relevante fysische parameters op de respons van de cupula onderzocht.

Het in dit proefschrift beschreven onderzoek is uitgevoerd op de afdeling Biofysika op het Laboratorium voor Algemene Natuurkunde van de Rijksuniversiteit Groningen. Aan iedereen die aan dit onderzoek heeft bijgedragen betuig ik mijn dank.

37249
1987